

(19)



Europäisches Patentamt  
European Patent Office  
Office européen des brevets



(11) Veröffentlichungsnummer: **0 631 157 A1**

(12)

## EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

(21) Anmeldenummer: 94113300.1

(51) Int. Cl. 5: G02B 5/30, G02F 1/00

(22) Anmeldetag: 25.08.94

(30) Priorität: 26.08.93 DE 4328785

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:  
28.12.94 Patentblatt 94/52

(84) Benannte Vertragsstaaten:  
DE FR GB IT NL

(71) Anmelder: Consortium für elektrochemische  
Industrie GmbH  
Zielstattstrasse 20  
D-81379 München (DE)

(72) Erfinder: Maurer, Robert, Dr.  
Dankstrasse 7  
D-81371 München (DE)  
Erfinder: Belergrösslein, Stefan  
Eintrachtstrasse 6  
D-81541 München (DE)  
Erfinder: Kreuzer, Franz-Heinrich, Dr.  
Josef-Gerstner-Strasse 15  
D-82152 Martinsried (DE)

(54) Optische Elemente mit abbildender farb- und polarisationsselektiver Reflexion enthaltend cholesterische Flüssigkristalle sowie Herstellung und Verwendung dieser Elemente.

(57) Die Erfindung betrifft optische Elemente mit abbildender, farb- und polarisationsselektiver Reflexion enthaltend cholesterische Flüssigkristalle sowie Herstellung und Verwendung dieser Elemente.

Die optisch abbildenden, wellenlängen- und polarisationsselektiven Elemente, sind dadurch gekennzeichnet, daß mindestens ein cholesterischer Flüssigkristall in den Zwischenraum konstanter Dicke zwischen zwei lichtdurchlässigen Substraten mit gekrümmter Oberfläche derart eingeschlossen ist, daß die Helixachse des Flüssigkristalls senkrecht zur gekrümmten Oberfläche der lichtdurchlässigen Substrate ausgerichtet ist.

Die Elemente eignen sich zur Verwendung als Strahlteiler oder Rekombinator in Projektionsdisplays.

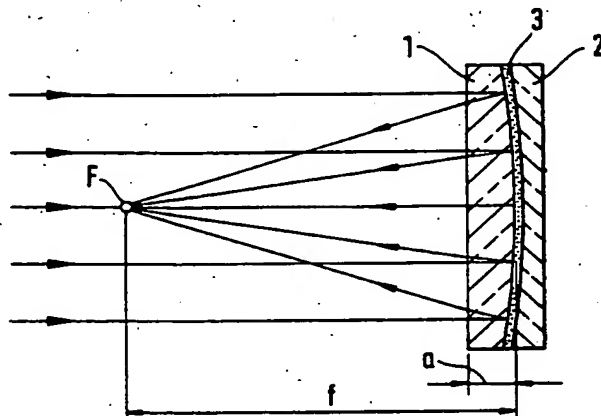


Fig. 1c

EP 0 631 157 A1

Die Erfindung betrifft optische Elemente mit abbildender farb- und polarisationsselektiver Reflexion enthaltend cholesterische Flüssigkristalle sowie Herstellung und Verwendung dieser Elemente.

Cholesterische Flüssigkristalle (Cholesteric Liquid Crystal; CLC) reflektieren zirkular polarisiertes Licht in einem von der helikalen Struktur des CLC abhängigen Wellenbereich. Die Reflexionsfarbe wird durch die Ganghöhe (pitch  $p$ ) der helikalen Struktur bestimmt und durch die zentrale Wellenlänge  $\lambda_{\max}$  des Reflexionsbandes mit der Bandbreite  $\Delta\lambda$  beschrieben. Die zentrale Wellenlänge des Reflexionsbandes wird im folgenden als Reflexionswellenlänge bezeichnet. Die Reflexionswellenlänge ist vom Betrachtungswinkel abhängig. Sie gehorcht folgender Gleichung:

$$\lambda_{\max} = n \cdot p \cdot \cos \psi \quad (1),$$

wobei  $n$  der mittlere Brechungsindex des CLCs ist und  $\psi$  der Winkel zwischen dem einfallendem Strahl und dem Einfallslot. Somit ist bei senkrechtem Lichteinfall  $\psi = 0^\circ$ .

Die charakteristischen Reflexionseigenschaften der CLCs treten in Richtung der Helixachse oder wenig abweichend von dieser Richtung auf. Die bei senkrechtem Einfall zirkulare Polarisation des reflektierten Lichtes nimmt mit zunehmendem Einfallswinkel ab. Die Zirkularpolarisation des reflektierten Lichtes läßt sich somit nur für kleine Einfallswinkel nutzen.

Die Anwendung cholesterischer Flüssigkristalle als optische Transmissionsfilter ist aus US-A-3,679,290 bekannt. Neben den verschiedenen Einstellmöglichkeiten für die Wellenlänge und die Polarisation des reflektierten Lichtes werden Kombinationen von CLC-Schichten beschrieben, die als Notch- und Bandenfilter wirken. Die CLC-Schichten sind eben angeordnet.

Aus US-A-4,679,911 ist bekannt, CLCs zwischen einer gekrümmten und einer ebenen Oberfläche einzuschließen, so daß die Dicke der CLC-Schicht nicht konstant ist, sondern in definierter Weise variiert. An Stellen mit verschwindender Schichtdicke wird das gesamte einfallende Licht transmittiert, an solchen mit endlicher Schichtdicke wird das Licht reflektiert, wenn die Reflexionswellenlänge des cholesterischen Flüssigkristalls und die Wellenlänge des einfallenden Lichtes übereinstimmen. Die beschriebene Anordnung zur Strahlprofilbeschneidung nützt gekrümmte Flächen zur Begrenzung des CLC-Volumens. Aufgrund unterschiedlicher Krümmungsradien variiert das eingeschlossene Volumen dabei in der Schichtdicke. Dadurch kommt es zu der gewünschten ortsabhängig unterschiedlichen Transmission.

In EP-A-302 619 wird ein ebener Filter aus CLC verwendet, um einen Teilbereich des sichtbaren Lichtes unter Erhaltung der Zirkularpolarisation zu reflektieren. Der beschriebene Reflektor ändert nur die Ausbreitungsrichtung des Lichtes; er wirkt jedoch nicht abbildend im Sinne einer Linse. Die beschriebene Zirkularpolarisation des reflektierten Lichtes ist zudem aufgrund des großen Einfallswinkels unvollständig.

Aus EP-A-348 141 ist ein Infrarotfilter bekannt, dessen Kantenschärfe durch Verwendung eines CLCs verbessert wird. Die in Fig. 2b abgebildete gekrümmte cholesterische Schicht in der dargestellten Scheibe einer Schutzbrille reflektiert Licht unerwünschter Wellenlänge in beliebiger Richtung ohne abzubilden und filtert so das transmittierte Licht.

Schadt et al. beschreiben in Japanese Journal of Applied Physics, 29, No. 10 1990, 1974-1984, eine Anordnung von planen CLC-Reflektoren zur Farb- und Polarisationsselektion für ein Projektionsdisplay. Die Reflexion an der CLC-Schicht erfolgt jeweils unter einem Winkel von  $45^\circ$ . Da die zirkulare Polarisation des reflektierten Lichtes mit zunehmendem Einfallswinkel abnimmt, ist das reflektierte Licht dieser Polarisatoren kaum polarisiert.

Die Erfindung betrifft optisch abbildende wellenlängen- und polarisationsselektive Elemente, die dadurch gekennzeichnet sind, daß mindestens ein cholesterischer Flüssigkristall in den Zwischenraum konstanter Dicke zwischen zwei gekrümmten Oberflächen lichtdurchlässiger Substrate derart eingeschlossen ist, daß die Helixachse des Flüssigkristalls senkrecht zur gekrümmten Oberfläche des lichtdurchlässigen Substrats ausgerichtet ist.

Unter cholesterischen Flüssigkristallen (CLCs) sind im Sinne der Erfindung Stoffe zu verstehen, die eine helikale Phase aufweisen, deren optische Eigenschaften denen einer nematisch chiralen Phase entsprechen.

Die Erfindung betrifft ferner die Herstellung der optisch abbildenden wellenlängen- und polarisationsselektiven Reflektoren.

Die Erfindung betrifft auch die Verwendung dieser Reflektoren als Strahlteiler oder Rekombinatoren beispielsweise in Geräten mit hohem Lichtfluß wie beispielsweise in einem Projektionsdisplay.

Die erfindungsgemäßen Reflektoren reflektieren Licht in Abhängigkeit vom verwendeten CLC farb- und polarisationsselektiv. Sie wirken zudem als im Sinne einer Linse abbildendes, optisches Element. Nichtreflektiertes Licht setzt seinen Weg ohne Änderung durch die CLC-Schicht fort. Somit ergibt sich ein abbildender Reflektor, dessen Wirkung auf eine Farbe und einen Drehsinn der Zirkularpolarisation be-

schränkt ist und der das transmittierte Licht ansonsten nicht beeinflusst. Mit einem solchen erfindungsgemäßen Element können die Funktionen eines Farbfilters, eines Polarisators und einer Linse in einem Element vereinigt werden.

Im Sinne der Erfindung ist unter Licht elektromagnetische Strahlung mit Wellenlängen zwischen 300 und 3000 nm, bevorzugt zwischen 350 und 2000 nm, zu verstehen.

Beispielsweise wirkt ein optisches Element bestehend aus einer CLC-Schicht zwischen einer Plankonvex- und einer Plankonkav-Linse, je nachdem auf welcher Seite es bestrahlt wird, auf einer Seite als Konkav- und auf der anderen Seite als Konvexspiegel. Im ersten Fall wird parallel einfallendes Licht durch die CLC-Schicht reflektiert und im Brennpunkt gesammelt; im zweiten Fall wird das Licht divergent und scheint vom imaginären Brennpunkt hinter dem Element auszugehen, wie dies in Fig. 1 dargestellt ist.

Der Strahlengang des nichtreflektierten Lichts wird durch die erfindungsgemäßen Elemente nicht beeinflusst. Die Brennweite der Elemente läßt sich durch geeignete Wahl der Brennweite der verwendeten Linsen einstellen.

Neben den genannten Plankonvex- und Plankonkav-Linsen sind Linsen mit Zylindergeometrie, die in einer Richtung keine Krümmung aufweisen, senkrecht zu dieser Richtung jedoch parabolisch, kreisförmig oder elliptisch gekrümmt sind, weitere Beispiele für lichtdurchlässige Substrate mit gekrümmter Oberfläche.

Ein ideal abbildender Reflektor sollte eine parabolisch gekrümmte Oberfläche haben. Es können jedoch auch Linsen mit sphärisch oder elliptisch gekrümmter Oberfläche zur Herstellung erfindungsgemäßer Elemente verwendet werden.

Durch Verwendung von Linsen mit beidseitig gekrümmter Oberfläche, also konvex-konkav-, konvex-konvex- oder konkav-konkav-Linsen, können Elemente hergestellt werden, die nicht nur den reflektierten Lichtanteil abbilden, sondern auch den transmittierten Lichtanteil.

Elemente bestehend aus einem CLC zwischen einer plankonvexen und einer plankonkaven sphärischen Linse eignen sich beispielsweise zur Anwendung in Projektionsdisplays. Die hohen Lichtflüsse in solchen Geräten erfordern die Verwendung von lichtunempfindlichen, Licht nicht absorbierenden Stoffen wie beispielsweise CLCs. Bisher stand einer Anwendung von CLCs in solchen Geräten die mangelhafte polarisierende Wirkung von CLC-Schichten bei Bestrahlung unter großen Winkeln entgegen. Bei der Verwendung der erfindungsgemäßen Elemente ist dieses Problem gelöst, da keine großen Winkel auftreten. Zudem wird durch Verwendung der erfindungsgemäßen Elemente die Anzahl der Komponenten in den Projektionsdisplays reduziert und die Lichtausbeute der Displays erhöht.

Mehrere erfindungsgemäße optische Elemente lassen sich auf einem Substrat kombinieren. Eine solche Kombination, bestehend aus einem Feld von 5 x 8 erfindungsgemäßen Hohlspiegeln, ist in Fig. 2 dargestellt.

Die erfindungsgemäßen Reflektoren lassen sich dadurch herstellen, daß auf die gekrümmte Oberfläche eines lichtdurchlässigen Substrats ggf. nach dem Aufbringen einer Orientierungsschicht mindestens ein cholesterischer Flüssigkristall aufgebracht wird und dieser cholesterische Flüssigkristall anschließend durch Aufbringen einer zweiten gekrümmten Oberfläche eines lichtdurchlässigen Substrats, auf welche ggf. ebenfalls eine Orientierungsschicht aufgebracht wurde, derart verteilt wird, daß ein dünner CLC Film konstanter Dicke zwischen den gekrümmten Oberflächen der beiden lichtdurchlässigen Substrate entsteht. Vor dem Aufbringen auf die Substratoberfläche wird der cholesterische Flüssigkristall ggf. geklärt oder bis nahe, bevorzugt 20 °C, an den Klärpunkt erwärmt, um ihn fließfähig zu machen. Bevorzugt werden auch die gekrümmten Oberflächen des lichtdurchlässigen Substrats dazu auf etwa die gleiche Temperatur erwärmt.

Ein weiteres Verfahren zur Herstellung von erfindungsgemäßen, optischen Elementen ist dadurch gekennzeichnet, daß man mindestens einen CLC in den Zwischenraum konstanter Dicke zwischen zwei gekrümmten Oberflächen einbringt und die flüssigkristalline Substanz in an sich bekannter Weise derart orientiert, daß die Helixachse auf der Substratoberfläche senkrecht steht.

Als Substrate zur Herstellung der gekrümmten Oberflächen sind alle Materialien geeignet, die durchlässig für Licht sind; bevorzugt werden Gläser, Quarz und/oder hochtransparente Kunststoffe verwendet. Bevorzugt werden optische Gläser, wie beispielsweise BK7 (Schott Glaswerke, Mainz, Deutschland), verwendet.

Die Oberflächen der Substrate werden so ausgebildet, daß zwischen den beiden Oberflächen ein Spalt konstanter Dicke entsteht. Die Dicke des Spalts ist durch Änderung des Abstands der Substratoberflächen voneinander einstellbar. Um den Spalt auf die gewünschte Dicke einzustellen, können Abstandshalter verwendet werden. Die gewünschte Dicke liegt bevorzugt zwischen 0,5 und 150 µm, besonders bevorzugt zwischen 2 und 70 µm. Durch die gekrümmten Substratoberflächen wird somit eine gekrümmte Zelle konstanter Dicke gebildet.

Ein einfaches Beispiel einer solchen Anordnung der Oberflächen ist die Kombination einer plankonvexen, sphärischen Linse der Brennweite  $f_{\text{konvex}}$  mit einer plankonkaven Linse der Brennweite  $f_{\text{konkav}}$ , wobei

beide Linsen einen identischen Brechungsindex  $n$  besitzen, derart, daß die konvex gekrümmte Seite der konkav gekrümmten Seite anliegt (siehe Fig. 1).

Für die Krümmungsradien  $r$  gilt:

$$5 \quad r_{\text{konvex}} + d = -r_{\text{konkav}} \quad (2) ,$$

wobei  $d$  die Dicke des Spalts zwischen den beiden Oberflächen bedeutet. Die im Regelfall verwendeten Linsen haben Krümmungsradien größer 5 mm, entsprechend minimale Brennweiten von 10 mm. Im Vergleich hierzu kann die Dicke des Spalts von in der Regel maximal 150  $\mu\text{m}$ , bevorzugt maximal 70  $\mu\text{m}$ , vernachlässigt werden. Somit können in der Regel Linsen betragsmäßig gleicher aber entgegengesetzter Krümmung verwendet werden. Für diese gilt:

$$r_{\text{konvex}} = -r_{\text{konkav}} \quad (3) .$$

15 Somit gilt wegen

$$f = r/(n-1) \quad (4) ,$$

$$f_{\text{konvex}} = -f_{\text{konkav}} \quad (5) :$$

20 Oberflächen mit komplizierteren Geometrien lassen sich zur Herstellung der erfindungsgemäßen Reflektoren verwenden, solange folgende Bedingungen für die Krümmung  $p(x,y)$  von Substrat 1 und Substrat 2 am Ort  $(x,y)$  erfüllt ist:

$$25 \quad p_1(x,y) = -p_2(x,y) \quad (6) .$$

Dabei betrachte man die Krümmung  $p(x,y)$  als Modulation der Substratoberfläche  $(x,y)$ , wobei auch hier gemäß den oben gemachten Ausführungen der Abstand zwischen den Substraten vernachlässigt wird.

Für Linsen mit sehr kleinen Krümmungsradien, beispielsweise solche mit Krümmungsradien kleiner 5 mm, ist die Dicke der CLC-Schicht nach Gln. (2) zu berücksichtigen.

30 Zur Füllung des Spalts zwischen den beiden Substratoberflächen ist jeder CLC mit einer Ganghöhe geeignet, die zur Reflexion bei einer Wellenlänge des Lichtes im Bereich von 300 bis 3000 nm führt.

Art und Anteil des Chiralikums des CLCs bestimmen die Ganghöhe der verdrehten Struktur des CLCs und damit die Wellenlänge des reflektierten Lichtes. Die Verdrehung der Struktur kann sowohl links- als auch rechtshändig sein. Die CLCs können zudem polymerisierbare, polykondensierbare oder einer Polyaddition zugängliche Gruppen enthalten, die eine spätere Fixierung der orientierten Struktur ermöglichen. Beispiele für solche Gruppen sind Methacryloxy- und Acryloxygruppen.

Geeignete Materialien und ihre Herstellung sind beispielsweise in DE-C2-3,604,757, in EP-A2-358 208, in EP-A-0 066 137 (entspricht US 4,388,453) oder in der in D.J. Broer et al in 14. Int. Liquid Conf., Abstracts 40 II, 921 (1992), genannten Literatur beschrieben.

Bevorzugt geeignet sind dreidimensional vernetzbare Polyorganosiloxane nach EP-A-358,208.

Zur Füllung des Spalts zwischen den beiden Oberflächen sind jedoch grundsätzlich alle CLCs geeignet. Es kann eine Art von CLC, es kann aber auch ein Gemisch aus mindestens zwei dieser Flüssigkristalle eingesetzt werden. Monomere Mischungen cholesterischer, flüssigkristalliner Substanzen lassen sich beispielsweise durch Kombination eines nematischen Flüssigkristalls mit einem Chiralikum herstellen.

45 Durch die Verwendung flüssigkristalliner Substanzen, deren Reflexionswellenlänge im Bereich des jeweils gewünschten Reflexionsmaximums liegt, lassen sich Reflektoren für beliebige Wellenlängen herstellen. Durch die Auswahl von flüssigkristallinen Substanzen mit rechts- oder linkshelikaler Struktur läßt sich die durch den erfindungsgemäßen Reflektor reflektierte Zirkularpolarisation jeweils wunschgemäß einstellen.

50 Zur Herstellung reflektierender Schichten ist eine homogene Ausrichtung der Helixachse der CLCs senkrecht zur Reflektoroberfläche erforderlich.

Dies kann im Prinzip mit allen bekannten Verfahren zur Orientierung von CLC-Schichten erfolgen. Beispielsweise läßt sich die Orientierung durch Scheren oder Aufbringen einer Orientierungsschicht durchführen.

55 Eine planare Orientierung der bevorzugt verwendeten, nematischen, cholesterischen Materialien läßt sich dadurch erzeugen, daß als Orientierungsschicht beispielsweise ein dünner Film aus Polyimid oder Nylon oder einer anderen geeigneten Substanz auf die Substratoberfläche aufgetragen wird. Das Auftragen erfolgt beispielsweise nach Verfahren wie sie aus der Herstellung von LC-Displays bekannt sind. Durch

Reiben beispielsweise mit einem Samttuch erhält der Film seine planar orientierende Wirkung.

Eine homöotrope Orientierung, wie sie bei Verwendung von smektischen Materialien erforderlich ist, läßt sich beispielsweise durch Aufbringen von Lecitin als Orientierungsschicht bewirken.

Bei Verwendung von CLCs mit lateralem Dipolmoment ist eine Orientierung auch dadurch möglich, daß nach Befüllen der Zelle mit der flüssigkristallinen Substanz ein elektrisches Feld derart angelegt wird, daß die Feldrichtung senkrecht zur Substratoberfläche orientiert ist. Die Orientierung mittels eines elektrischen Feldes wird beispielsweise dadurch ermöglicht, daß die Substratoberflächen mit einer leitfähigen Beschichtung versehen werden. Dies kann beispielsweise mittels ITO-Bedampfung der Substratoberflächen geschehen.

Der CLC wird in an sich bekannter Art in die Zelle gefüllt. Dies ist beispielsweise durch Nutzung der Kapillarität möglich.

Durch den erfindungsgemäßen Reflektor wird paralleles Licht einer Zirkularpolarisation im Spektralbereich der Reflexionsbande reflektiert und im Brennpunkt des Reflektors fokussiert. Das nicht reflektierte Licht setzt seinen Weg unverändert fort. Das transmittierte Licht steht somit zur weiteren Verwendung zur Verfügung. Das fokussierte reflektierte Licht kann beispielsweise durch einen kleinen Planspiegel zunächst umgelenkt werden, um so außerhalb des ursprünglichen Strahlengangs zur beliebigen Verwendung verfügbar zu sein.

Die erfindungsgemäße Verwendung eines sphärischen CLC-Elements als Strahlteilerelement ist in Fig. 3 dargestellt. Auf den Reflektor bestehend aus einer sphärischen, plankonvexen Linse (1), einer sphärischen, plankonkaven Linse (2) und einer CLC-Schicht (3) fällt parallel einfallendes, unpolarisiertes, weißes Licht (4). Der reflektierte Teil des Lichtes wird auf einen Spiegel (5) fokussiert und durch die Sammellinse (6) gebündelt. Dieser Teilstrahl (7) ist zirkular polarisiert und spektral auf die Reflexionsbande der CLC-Schicht beschränkt. Dem transmittierten Licht (8) fehlt dieser Anteil, so daß es innerhalb des Reflexionsbandes entgegengesetzt zirkular polarisiert ist und für Wellenlängen, die nicht im Reflexionsband liegen, unpolarisiert ist.

Die erfindungsgemäße Verwendung eines sphärischen CLC-Elements zur Rekombination abbildender Strahlengänge mit unterschiedlichen Farben ist in Fig. 4 dargestellt. Einfallendes, paralleles Licht (9) wird durch eine Sammellinse (6) auf einen Spiegel (5) fokussiert, fällt von diesem auf das erfindungsgemäße Element bestehend aus einer sphärischen, plankonvexen Linse (1), einer sphärischen, plankonkaven Linse (2) und der CLC-Schicht (3) und wird von diesem reflektiert und in den transmittierten Strahl (10) eingekoppelt, wenn Zirkularpolarisation und Farbe mit der durch die CLC-Schicht (3) reflektierten Zirkularpolarisation und Farbe übereinstimmen und man erhält das rekombinierte Licht (11). Der transmittierte Strahl (10) wird nicht beeinflusst, wenn er nur Farbkomponenten außerhalb der Reflexionsbande der CLC-Schicht (3) enthält.

Die erfindungsgemäßen Strahlteiler und Rekombinatoren ermöglichen somit sowohl die Aufteilung der Spektralbereiche als auch die Polarisation des jeweiligen Spektralbereiches, während herkömmliche Strahlteiler und Polarisatoren zur Aufteilung bzw. zum Zusammenführen der Spektralbereiche dichroitische Spiegel verwenden, welche das unter  $45^\circ$  auftreffende Licht um  $90^\circ$  ablenken und die nötige Polarisation durch separate Folien getrennt von der Aufteilung der Spektralbereiche durchführen.

Der Ersatz der dichroitischen Spiegel in herkömmlichen Strahlteilern durch eine bekannte planare CLC-Schicht, um durch Ausnutzung der zirkularpolarisierten Reflexion den Polarisator einzusparen, ist nicht möglich, da die polarisierende Wirkung der bekannten cholesterischen Schicht bei Reflexion unter einem Winkel von  $45^\circ$  ungenügend ist (siehe z.B. Schadt et al., Japanese Journal of Applied Physics, 29, No. 10 1990, 1974-1984).

Bei Verwendung eines erfindungsgemäßen, sphärischen Reflektors treten bei üblicherweise verwendeten Aperturen nur kleine Reflexionswinkel von bevorzugt unter  $20^\circ$ , besonders bevorzugt unter  $15^\circ$ , auf, so daß die bei senkrechtem Einfall gute Polarisation der cholesterischen Reflexion erhalten bleibt.

Beispielsweise können, wie in Fig. 5 dargestellt, durch die Kombination von 3 erfindungsgemäßen Strahlteilern (12 a - 12 c) mit jeweils verschiedenen CLC-Schichten die Grundfarben Rot, Grün und Blau mit definierter Zirkularpolarisation selektiert werden (7 a - 7 c), die Zirkularpolarisation durch je ein Flüssigkristalldisplay (13 a - 13 c), wie sie bereits im Stand der Technik Verwendung finden, ortsmoduliert, d.h. je nach Schaltzustand des Bildpunktes wird die Zirkularpolarisation invertiert oder bleibt erhalten, und die 3 Strahlengänge durch eine zweite Dreierkombination aus erfindungsgemäßen Reflektoren (14 a - 14 c) mit jeweils verschiedenen CLC-Schichten rekombiniert werden. Die rekombinierten Teilstrahlen (11 a - 11 c) werden durch eine Abbildungsoptik (15) auf einen Betrachtungsschirm (16) projiziert. Durch eine solche Kombination von Elementen, welche die Grundfarben Rot, Grün und Blau reflektieren, läßt sich ein Projektionsdisplay aufbauen, in dem Polarisation, Farbzerlegung und Farbrekombination durch cholesterische Schichten bewirkt werden.

Fig. 1 zeigt Aufbau und Verwendung eines erfindungsgemäßen, optischen Elements bestehend aus einer sphärischen Plankonvex-Linse (1), einer sphärischen Plankonkav-Linse (2) sowie einer CLC-Schicht (3) zwischen den beiden Linsen. Es bedeutet: r: Krümmungsradius der Plankonvex-Linse; D: Durchmesser des optischen Elements; d: Dicke der CLC-Schicht (entspricht dem Abstand der Linsen (1) und (2)); a: Dicke der Konvexlinse im Zentrum; f und F: Brennweite und Brennpunkt des erfindungsgemäßen, optischen Elements bei Verwendung als Konkavspiegel; a': Dicke der Konkavlinse im Zentrum; f' und F': Brennweite und imaginärer Brennpunkt des erfindungsgemäßen optischen Elements bei Verwendung als Konvexspiegel;

Fig. 1 a) zeigt einen Längsschnitt durch das Element. Die in Fig. 1 b) dargestellte Schnittebene ist eingezeichnet.

Fig. 1 b) zeigt einen Längsschnitt senkrecht zu Fig. 1 a) durch das Element. Die in Fig. 1 a) dargestellte Schnittebene ist eingezeichnet.

Fig. 1 c) zeigt den Strahlengang des Lichts bei Verwendung des erfindungsgemäßen Elements als Konkavspiegel.

Fig. 1 d) zeigt den Strahlengang des Lichts bei Verwendung des erfindungsgemäßen Elements als Konvexspiegel.

Fig. 2 a) zeigt in Aufsicht die Kombination von 5 x 8 erfindungsgemäßen Hohlspiegeln auf einem Substrat. Der in Fig. 2 b) dargestellte Schnitt ist eingezeichnet.

Fig. 2 b) zeigt schematisch und stark überhöht einen Querschnitt durch die in Fig. 2 a) dargestellte Aufsicht. Zwischen der transparenten Substratoberfläche enthaltend ein Feld von 5 x 8 konvexen Linsen (17) und der transparenten Substratoberfläche enthaltend 5 x 8 konkave Linsen (18) befindet sich eine CLC-Schicht (3) konstanter Dicke.

Fig. 3 zeigt ein erfindungsgemäßes Strahlteilerelement zur Trennung einer Farbe mit definierter Polarisation vom einfallenden, unpolarisierten, weißen Licht. Es bedeutet: (1) Plankonvexe Linse, (2) Plankonkave Linse, (3) CLC-Schicht, (4) Parallel einfallendes, weißes, unpolarisiertes Licht, (5) Planspiegel, (6) Sammellinse, (7) Zirkularpolarisiertes Licht mit dem Spektralbereich der cholesterischen Reflexionsbande, (8) Transmittiertes Licht, es fehlt der durch die CLC-Schicht reflektierte Anteil.

Fig. 4 zeigt ein erfindungsgemäßes Strahlteilerelement zur Rekombination abbildender Strahlengänge mit unterschiedlichen Farben. Es bedeutet: (1) Plankonvexe Linse, (2) Plankonkave Linse, (3) CLC-Schicht, (5) Planspiegel, (6) Sammellinse, (9) Zirkular polarisiertes Licht aus dem Spektralbereich der cholesterischen Reflexionsbande, (10) Licht von außerhalb der cholesterischen Reflexionsbande, (11) Rekombiniertes Licht.

Fig. 5 zeigt die Kombination mehrerer Strahlteilerelemente zur Trennung und Rekombination der Elementarfarben Rot, Grün und Blau in einem Projektionsdisplay. Es bedeutet: (4) Parallel einfallendes, weißes, unpolarisiertes Licht, (7) Zirkular polarisiertes Licht aus dem Spektralbereich der cholesterischen Reflexionsbande, (11) Rekombiniertes Licht, (12 a-c) Strahlteiler entsprechend Fig. 3 für (12 a) rotes, (12 b) grünes und (12 c) blaues Licht, (13 a-c) Flüssigkristalldisplay zur Erzeugung des (13 a) roten, (13 b) grünen und (13 c) blauen Teilbildes, (14 a-c) Rekombinator entsprechend Fig. 4 für (14 a) rotes, (14 b) grünes und (14 c) blaues Licht, (15) Abbildungsoptik, (16) Projektion des Bildes zum Betrachtungsschirm.

Fig. 6 zeigt Aufbau und Verwendung eines erfindungsgemäßen optischen Elements bestehend aus einer zylinderförmigen Plankonvex-Linse (19), einer zylinderförmigen Plankonkav-Linse (20) sowie einer CLC-Schicht (3) zwischen den beiden Linsen. Es bedeutet: r: Krümmungsradius der Plankonvex-Linse; D: Durchmesser des optischen Elements; d: Dicke der CLC-Schicht, entspricht dem Abstand der Linsen; a: Dicke der Konvexlinse im Zentrum; f und F: Brennweite und Brennpunkt des erfindungsgemäßen, optischen Elements bei Verwendung als Konkavspiegel; a': Dicke der Konkavlinse im Zentrum; f' und F': Brennweite und imaginärer Brennpunkt des erfindungsgemäßen, optischen Elements bei Verwendung als Konvexspiegel.

Fig. 6 a) zeigt einen Längsschnitt durch das Element. Die in Fig. 6 b) dargestellte Schnittebene ist eingezeichnet.

Fig. 6 b) zeigt einen Längsschnitt senkrecht zu Fig. 6 a) durch das Element. Die in Fig. 6 a) dargestellte Schnittebene ist eingezeichnet.

Fig. 6 c) zeigt den Strahlengang des Lichts bei Verwendung des erfindungsgemäßen Elements als Konkavspiegel.

Fig. 6 d) zeigt den Strahlengang des Lichts bei Verwendung des erfindungsgemäßen Elements als Konvexspiegel.

Die folgenden Beispiele dienen der weiteren Erläuterung der Erfindung:  
Für die Verwendung in dem erfindungsgemäßen Verfahren wurden folgende Substanzen verwendet:

Substanz I:

Die Substanz Wacker-LC-Silicon-CC3767 (käuflich erhältlich bei Wacker-Chemie GmbH; 81737 München) ist ein nematisches, cholesterisches, flüssigkristallines Organosiloxan. Bei 70 °C liegt das Reflexionsmaximum dieses CLC bei 670 nm. Das reflektierte Licht ist linkshelikal polarisiert.

Substanz II:

Die Substanz Wacker-LC-Silicon-CC3939 (käuflich erhältlich bei Wacker-Chemie GmbH; 81737 München) ist ein nematisches, cholesterisches, flüssigkristallines Organosiloxan. Bei 70 °C liegt das Reflexionsmaximum dieses CLC bei 390 nm. Das reflektierte Licht ist linkshelikal polarisiert.

Substanz III:

Die Substanz Wacker-LC-Silicon-CC37150 (käuflich erhältlich bei Wacker-Chemie GmbH; 81737 München) ist ein nematisches, cholesterisches, flüssigkristallines Organosiloxan. Bei 70 °C liegt das Reflexionsmaximum dieses CLC bei 1500 nm. Das reflektierte Licht ist linkshelikal polarisiert.

Substanz IV a, b, c:

Durch Mischen der Substanzen I - III läßt sich jede Reflexionswellenlänge zwischen 390 nm und 1500 nm einstellen. Es wurden 3 Mischungen für die Grundfarben rot, grün und blau hergestellt, deren Reflexionswellenlängen bei 634 nm (a: 95 % Substanz I und 5 % Substanz II), 530 nm (b: 70 % Substanz I und 30 % Substanz II) und 453 nm (c: 40 % Substanz I und 60 % Substanz II) liegen, wenn sie bei 70 °C polymerisiert wurden.

Substanz V:

Es wurde ein nematisches, cholesterisches, flüssigkristallines Organosiloxan wie folgt synthetisiert:

## a) Darstellung von 4-(Propen-2-oxy)benzoesäuredoristerylester

50 g Cholestadien (98 %ig, Aldrich GmbH, 7924 Steinheim) werden in 800 ml trockenem Essigsäureethylester, dem 30 ml Essigsäure zugesetzt wurden, gelöst und nach Zugabe von 1,5 g Platinoxid in einen Autoklaven von 2 l Volumen überführt. Die Hydrierung erfolgt bei 50 °C und 10 atm Wasserstoffdruck und ist in der Regel nach 24 Stunden beendet. Nach beendeter Reaktion wird der Katalysator abfiltriert, das Lösungsmittel abrotiert und das erhaltene Doristerol aus Ethanol umkristallisiert. Ausbeute: 42,5 g (88,5 %). Die Reinheit der Substanz wird mit Hilfe von <sup>1</sup>H-NMR- und <sup>13</sup>C-NMR-Spektroskopie sichergestellt.

17 g 4-(Propen-2-oxy)benzoesäurechlorid (hergestellt nach bekannten Verfahren ausgehend von 4-Hydroxybenzoesäuremethylester durch Allylierung, Verseifung und Überführung in das Säurechlorid) und 32 g Doristerol werden in 200 ml trockenem Toluol gelöst und 15 Stunden zum Rückfluß erhitzt. Anschließend wird das Lösungsmittel abdestilliert und der Rückstand aus Ethanol umkristallisiert; Ausbeute: 44,9 g (Ausbeute 99 %), Schmelzpunkt 92 °C (n°105 °C).

## b) Hydrosilylierung

1 g 4-(Propen-2-oxy)benzoesäuredoristerylester, 1,53 g 4-(Propen-2-oxybenzoesäure-4'-phenylphenylester (hergestellt nach üblichen Darstellungsverfahren) und 646 mg Pentamethylcyclopentasiloxan werden in 20 ml trockenem Toluol gelöst und nach Zugabe von 0,1 ml einer Lösung von Dicyclopentadienplatinchlorid (1 Gew.-% in Methylchlorid) 1 Stunde auf 100 °C erwärmt. Zu der auf 50 °C abgekühlten Lösung gibt man 1,45 g 4-(Propen-2-oxy)benzoesäure-(4-methacryloxy)phenylester (hergestellt nach üblichen Darstellungsverfahren), 500 ppm Hydrochinon und weitere 0,1 ml der Katalysatorlösung; diese Lösung wird eine halbe Stunde bei 70 - 80 °C gerührt. Nach beendeter Reaktion wird der Katalysator über eine kurze, mit Kieselgel gefüllte Säule (1 = 3 cm, Durchmesser = 3 cm) abgetrennt und das Produkt in Ethanol ausgefällt. Man erhält 2,8 g (60 %) einer Substanz mit einer Reflexionswellenlänge von 456 nm bei 60 °C. Das reflektierte Licht ist rechtshelikal polarisiert.

Substanz VI:

Die nematische Mischung Merck-ZLI-1565 (E. Merck, Darmstadt) wird durch Zugabe von 20 % wt. des Chiralikums Merck-ZLI-811 zu einem nematischen, cholesterischen Flüssigkristall, der bei 770 nm linkshelika-

**Beispiel 1**

Zylinderförmiger Reflektor (Fig. 6 a + b zeigt Schnitte durch das Element):

Zwischen einer plankonvexen (19) und einer plankonkaven (20) Zylinderlinse aus Glas (BK7 mit  $n_{BK7} = 1,5187$ ) der Brennweiten 300 mm und -300 mm wurde eine reflektierende CLC-Schicht (3) erzeugt. Dabei wurde die Substanz IVb mit einer Reflexionswellenlänge von 530 nm verwendet und zur späteren Photopolymerisation mit 2 % Photoinitiator vermischt (Irgacure 907; Ciba Geigy). Im einzelnen wurden die gekrümmten Oberflächen der Zylinderlinsen zunächst mit einer gehärteten Polyimidschicht versehen und anschließend zur Orientierung mit einem Samttuch unidirektionell gerieben. Auf die gekrümmte Oberfläche der auf 70°C temperierten Konkavlinse wurde eine ausreichende Menge des ebenfalls auf etwa 70°C erwärmten CLCs gegeben und anschließend durch Auflegen der ebenfalls auf etwa 70°C erwärmten Konvexlinse verteilt, bis ein dünner Film (Schichtdicke ca. 10 µm) zwischen den Flächen verblieb. Abschließend wurde der Film durch Bestrahlung mit UVA-Licht polymerisiert.

Die Abbildungseigenschaften dieses Elementes für linkshelikal polarisiertes Licht aus dem Reflexionsband sind die eines zylindrischen Hohlspiegels mit einem Krümmungsradius von ±155,6 mm. Bei einem freien Hohlspiegel ist die Brennweite für achsnahe Strahlen auf der konkaven Seite  $r/2$  bzw.  $-r/2$  für die konvexe Seite (Fig. 6 c + d). Die Glasauflage des Linsensubstrats führt eine zusätzliche, brechende Grenzfläche in den Strahlengang ein, so daß sich die Brennweite nach der Gleichung

$$f = a + (r/2 - a)/n \quad (7)$$

auf  $f = 52,6$  mm für den Konkav- ( $a = 4$  mm) und auf  $f' = -48,7$  mm für den Konvex-Spiegel berechnet ( $a' = -7,5$  mm; siehe auch Tabelle 1).



Tabelle 1

Parameter der in Beispiel 1 bis 9 beschriebenen, optischen Elemente (Längenangaben in [mm]); die Abkürzungen entsprechen den in den Zeichnungen verwendeten; Brennweiten $f$ und $f'$ berechnet nach Gl. 7; $f_{\text{konvex}}$ : Brennweite der Konvexlinse; identisch $f_{\text{konkav}}$ .									
Beispiel	$f_{\text{konvex}}$	D	a	$a'$	r	f	$f'$		
1	300	60	4	-7,5	155,6	52,6	-48,7		
2, 3, 4, 5, 6, 7	200	50	6	-2	103,7	36,2	-33,5		
8	600	95	6,6	-3	311,2	104,7	-101,4		
9	150	22,4	2,8	-2	77,8	26,6	-24,9		
10	10	5	2,6	-2	5,2	2,6	-1		

## Beispiel 2

5 Sphärischer Reflektor, Hohlspiegel (Fig. 1 a, b zeigen Schnitte durch das rotationssymmetrische Element): Zwischen einer plankonvexen (1) und einer plankonkaven (2) sphärischen Linse der Brennweiten 200 mm und -200 mm wurde analog zu den in Beispiel 1 beschriebenen Schritten aus Substanz IVa eine rot reflektierende, polymerisierte CLC-Schicht (3) hergestellt. Die Abbildungseigenschaften für linkshelikal polarisiertes Licht aus dem Reflexionsband sind die eines sphärischen Hohlspiegels (vergleiche Fig. 1 c, d).  
10 Abmessungen und Brennweiten des Elementes sind in Tabelle 1 zusammengefaßt.

## Beispiel 3

Analog zu Beispiel 2 wurde ein sphärischer Hohlspiegel mit dem grün reflektierenden CLC der  
15 Substanz IVb hergestellt.

## Beispiel 4

Analog zu Beispiel 2 wurde ein sphärischer Hohlspiegel mit dem blau reflektierenden CLC der Substanz  
20 IVc hergestellt.

## Beispiel 5

Analog zu Beispiel 2 wurde ein sphärischer Hohlspiegel mit dem bei 1500 nm reflektierenden CLC der  
25 Substanz III hergestellt.

## Beispiel 6

Analog zu Beispiel 2 wurde ein sphärischer Hohlspiegel mit Substanz V hergestellt. Substanz V ist nicht  
30 polymerisierbar. Das Element wurde deshalb durch Abkühlen unter den Glaspunkt von Substanz V, der bei ca. 30 °C liegt, fixiert.

## Beispiel 7

35 Analog zu Beispiel 2 wurde ein sphärischer Hohlspiegel mit Substanz VI hergestellt. Die Fixierung des Elementes erfolgte hier jedoch nicht durch Polymerisation des Flüssigkristalls, sondern durch Verkleben der Linsenränder mit einem käuflichen, Lösungsmittelfreien Kleber (UHU Plus sofortfest).

## Beispiel 8

40 Analog zu Beispiel 2 wurde ein sphärischer Hohlspiegel mit Linsen der Brennweite 600 mm und -600 mm hergestellt (siehe Tab. 1).

## Beispiel 9

45 Analog zu Beispiel 2 wurde ein sphärischer Hohlspiegel mit Linsen der Brennweite 150 mm und -150 mm hergestellt (siehe Tab. 1).

## Beispiel 10

50 Analog zu Beispiel 2 wurde ein sphärischer Hohlspiegel mit Linsen der Brennweite 10 mm und -10 mm hergestellt (siehe Tab. 1).

## Beispiel 11

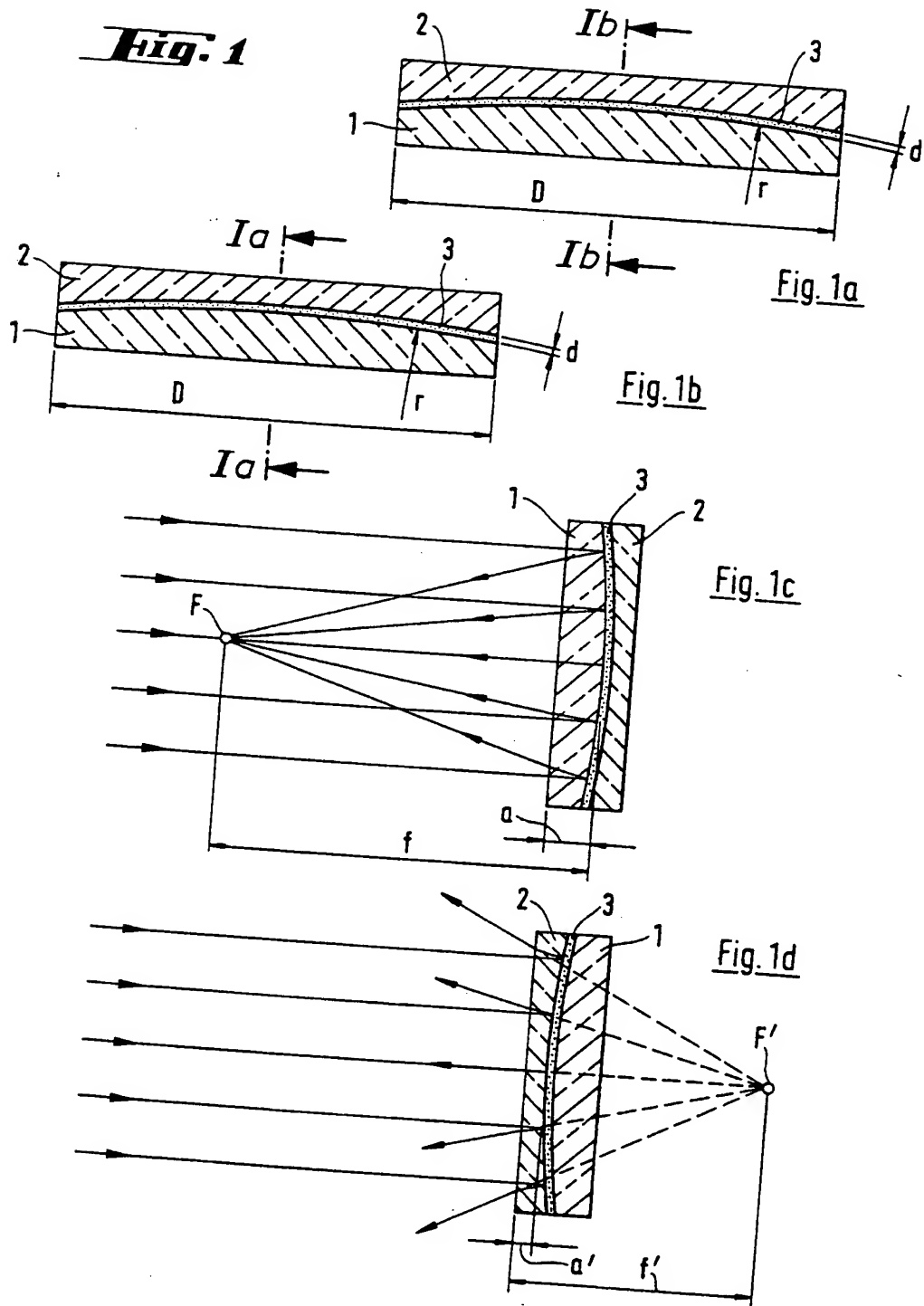
55 Ein polarisierender Strahlteiler wurde aus dem in Beispiel 3 beschriebenen Element aufgebaut (siehe Fig. 3).

Hierzu wurde die Wendel einer Glühlampe (12 V, 150 W) mittels eines Kondensors auf unendlich abgebildet. Das somit parallele Licht (4) fiel auf den sphärischen Reflektor (3). Entsprechend der im grünen Spektralbereich liegenden Reflexionsbande der CLC-Schicht wurde eine Zirkularpolarisation des einfallenden weißen Lichtes auf den Spiegel (5) fokussiert. Vom austretenden Strahl (7) wurde nach dem in M. Born, 5 E. Wolf; "Principles of Optics", (Pergamon Press 6th ed.; S. 552) beschriebenen Verfahren der Polarisationsgrad für diverse Aperturen am sphärischen Reflektor vermessen. Die Apertur ist dabei durch das Verhältnis zwischen dem Durchmesser der ausgeleuchteten Fläche und dem Abstand zwischen CLC-Schicht (3) und dem Fokus im Spiegel (5), der Brennweite des Spiegels (nach Tab.1) gegeben. Die ausgeleuchtete Fläche ließ sich durch eine Blende einstellen. Bis zur maximalen Apertur von 0,28 ergab 10 sich jeweils der gleiche Polarisationsgrad von  $0,970 \pm 0,002$ , der dem Idealwert von 1 sehr nahe liegt. Die Beobachtungsbandbreite war hierbei auf 20 nm eingeschränkt. Im Vergleich hierzu wurde für eine  $90^\circ$ -Ablenkung mittels einer planen CLC-Schicht (Einfallswinkel  $45^\circ$ ) ein eindeutig schlechterer Polarisationsgrad von 0.90 gemessen.

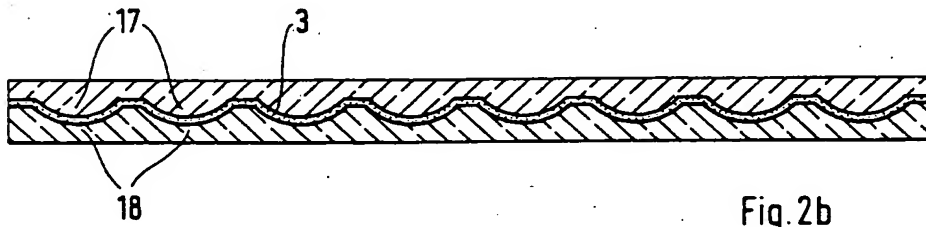
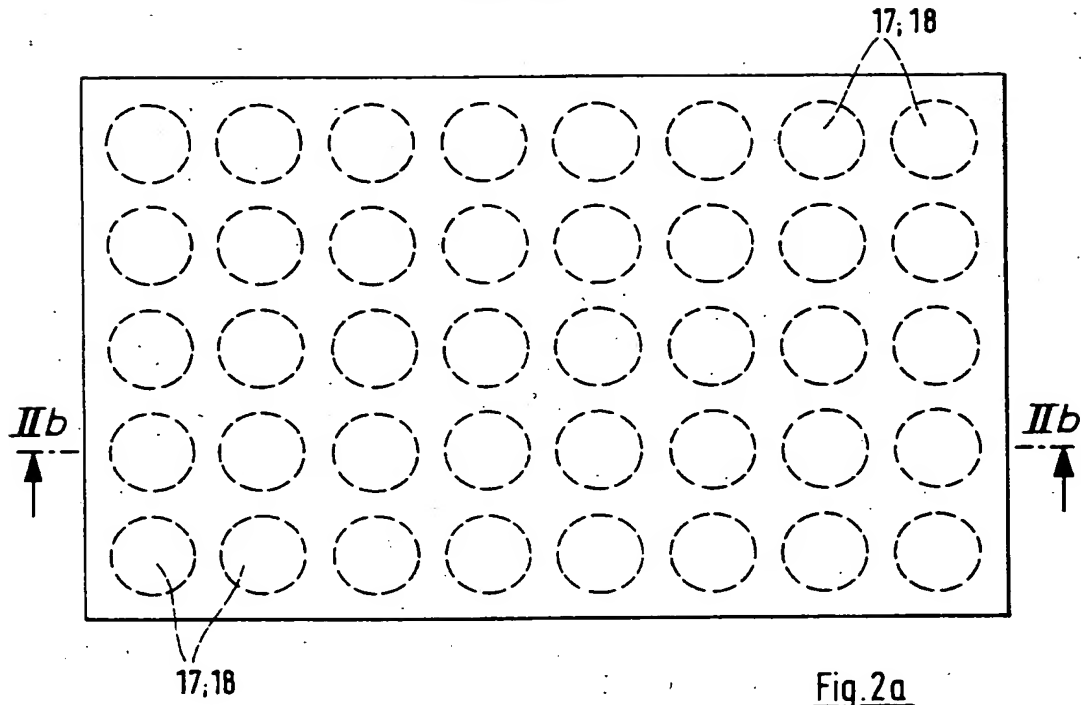
#### 15 Patentansprüche

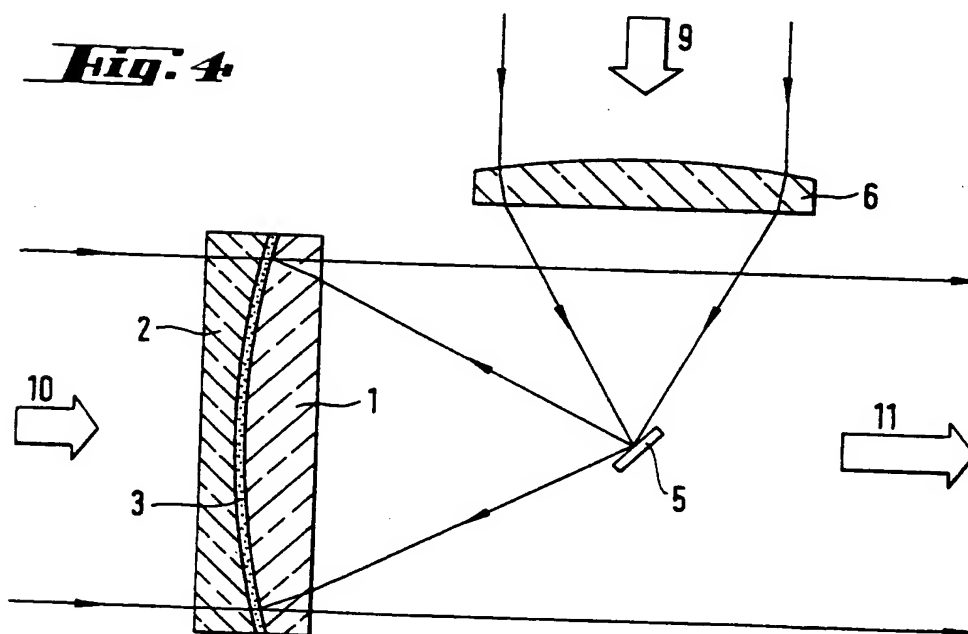
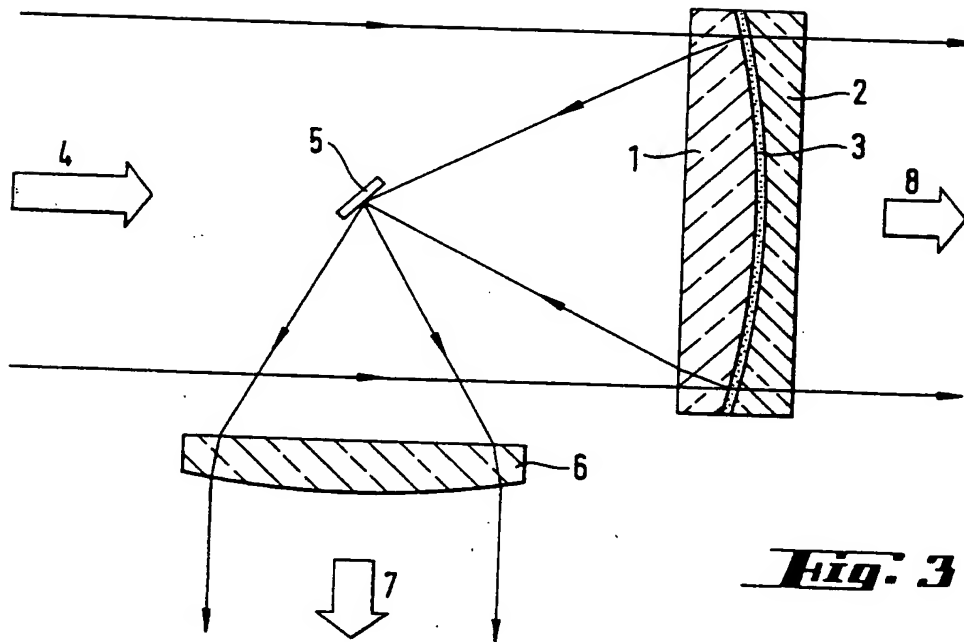
1. Optisch abbildende, wellenlängen- und polarisationsselektive Elemente, die dadurch gekennzeichnet sind, daß mindestens ein cholesterischer Flüssigkristall in den Zwischenraum konstanter Dicke zwischen zwei lichtdurchlässigen Substraten mit gekrümmter Oberfläche derart eingeschlossen ist, daß die 20 Helixachse des Flüssigkristalls senkrecht zur gekrümmten Oberfläche der lichtdurchlässigen Substrate ausgerichtet ist.
2. Element gemäß Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß als cholesterischer Flüssigkristall mindestens ein Polyorganosiloxan eingesetzt wird.
- 25 3. Element gemäß Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß als lichtdurchlässiges Substrat mit gekrümmten Oberflächen die konkave Seite einer ersten Zylinderlinse mit der konvexen Seite einer zweiten Zylinderlinse so kombiniert wird, daß das Element in Form eines Zylindersegmentes vorliegt.
- 30 4. Element gemäß Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß als lichtdurchlässiges Substrat mit gekrümmter Oberfläche die konkave Seite einer ersten Linse mit der konvexen Seite einer zweiten Linse so kombiniert wird, daß der Reflektor in Form eines Hohlspiegels vorliegt.
- 35 5. Optisches Element, dadurch gekennzeichnet, daß mehrere Elementen gemäß einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 4 auf einem Substrat kombiniert sind.
6. Polarisierender, farbselektiver Strahlteiler enthaltend mindestens ein optisches Element gemäß einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 5.
- 40 7. Polarisierender, farbselektiver Rekombinator enthaltend mindestens ein optisches Element gemäß einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 6.
8. Projektionsdisplay enthaltend mindestens ein optisches Element gemäß einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 7.
- 45 9. Verfahren zur Herstellung von optischen Elementen gemäß einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, daß mindestens ein cholesterischer Flüssigkristall in den Zwischenraum konstanter Dicke zwischen zwei gekrümmten Oberflächen lichtdurchlässiger Substrate eingebracht wird und die flüssigkristalline Substanz in an sich bekannter Weise orientiert wird.
- 50 10. Verfahren zur Herstellung von optischen Elementen gemäß einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, daß auf die ggf. erwärmte, gekrümmte Oberfläche eines lichtdurchlässigen Substrats ggf. nach dem Aufbringen einer Orientierungsschicht mindestens ein ggf. erwärmter, cholesterischer Flüssigkristall aufgebracht wird und dieser cholesterische Flüssigkristall anschließend durch 55 Aufbringen einer ggf. erwärmten, zweiten, gekrümmten Oberfläche eines lichtdurchlässigen Substrats, auf welche ggf. ebenfalls eine Orientierungsschicht aufgebracht wurde, derart verteilt wird, daß ein dünner CLC-Film konstanter Dicke zwischen den gekrümmten Oberflächen der beiden lichtdurchlässigen Substrate entsteht.

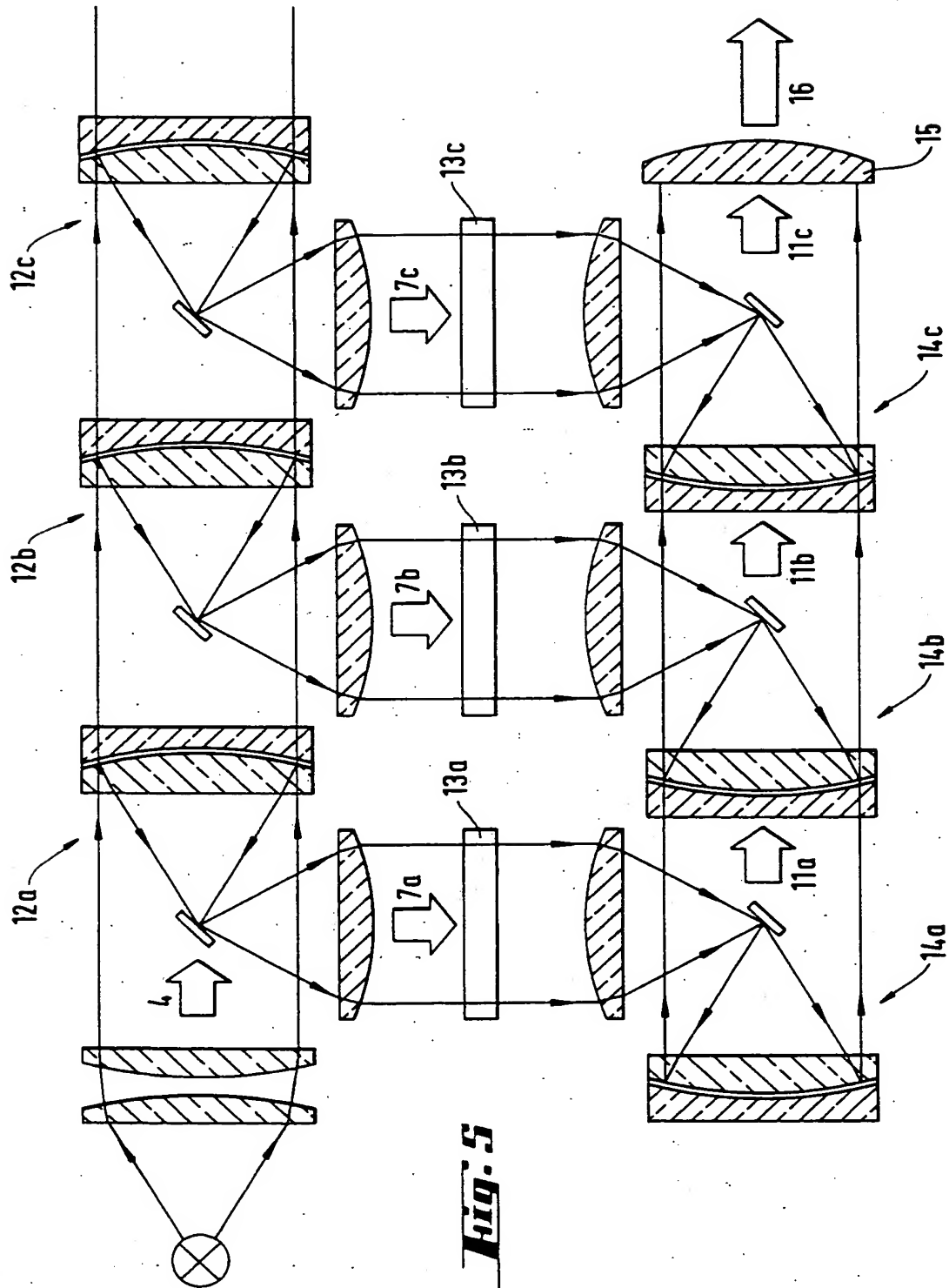
**Fig. 1**



***Fig. 2***

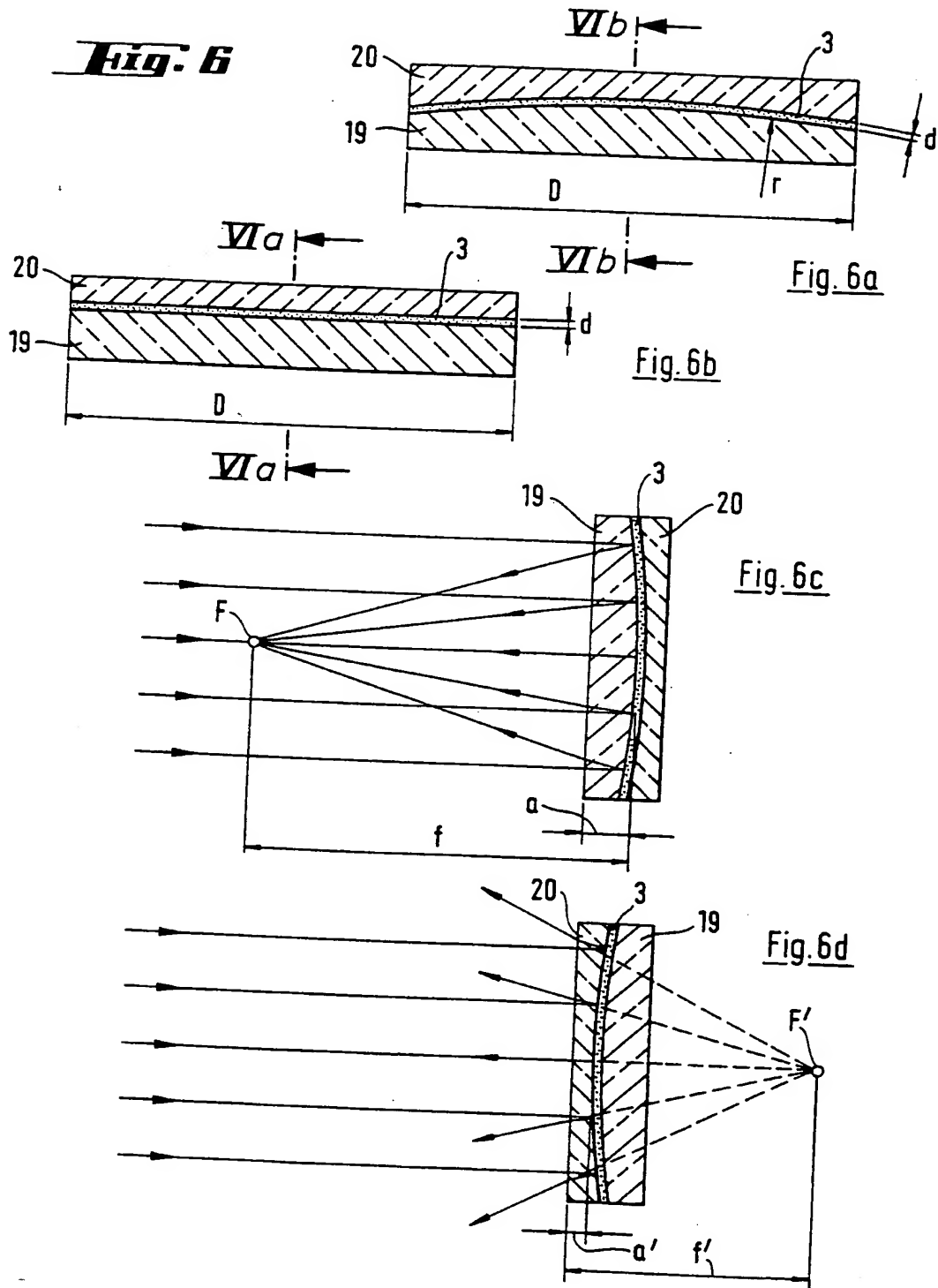






**Fig. 5**

**Fig. 6**







Europäisches  
Patentamt

# EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

Nummer der Anmeldung  
EP 94 11 3300

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (Int.Cl.6)
Y	PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 13, no. 499 (P-957) 10. November 1989 & JP-A-01 200 325 (EMIKO MORIMOTO) 11. August 1989	1	G02B5/30 G02F1/00
A	* Zusammenfassung; Abbildung * ---	4,9,10	
D,Y	US-A-3 679 290 (ADAMS ET AL)	1	
D,A	* das ganze Dokument * ---	6	
A	EP-A-0 407 830 (HOFFMANN LA ROCHE/NIOPIE MOSCOW RESEARCH AND PRODUCTION ASSOCIATION) * das ganze Dokument *	1,2,4-8	
D,A	EP-A-0 348 141 (KAISER AEROSPACE AND ELECTRONICS) * das ganze Dokument *	1	
D,A	JAPANESE JOURNAL OF APPLIED PHYSICS, Bd.29, Nr.10, Oktober 1990, TOKYO JP Seiten 1974 - 1984 SCHADT ET AL 'New Liquid Crystal Polarized Color Projection Principle' * das ganze Dokument *	1,6-8	
D,A	US-A-4 679 911 (JACOBS ET AL) * das ganze Dokument *	1,4,9,10	
D,A	EP-A-0 302 619 (KAISER AEROSPACE AND ELECTRONICS) * das ganze Dokument *	1,6-8	
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			
Recherchenort DEN HAAG		Abschlußdatum der Recherche 7. Oktober 1994	Prüfer Ward, S
<b>KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE</b> X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie A : technologischer Hintergrund O : mündliche Offenbarung P : Zwischenliteratur T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze E : älteres Patentdokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmeldedatum veröffentlicht worden ist D : in der Anmeldung angeführtes Dokument I : aus andern Gründen angeführtes Dokument & : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument			

**THIS PAGE BLANK (USP710)**